

全国公安高等教育（本科）规划教材  
公安部政治部 组编



# 消防燃烧学

董希琳 主编



中国人民公安大学出版社

全国公安高等教育（本科）规划教材  
公安部政治部 组编

# 消防燃烧学

董希琳 主编

中国人民公安大学出版社  
·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

消防燃烧学/董希琳主编. —北京: 中国人民公安大学出版社, 2014. 8

全国公安高等教育 (本科) 规划教材

ISBN 978 - 7 - 5653 - 1968 - 6

I. ①消… II. ①董… III. ①消防—燃烧理论—高等学校—教材 IV. ①TU998. 12

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 201737 号

## 消防燃烧学

董希琳 主编

---

出版发行: 中国人民公安大学出版社

地 址: 北京市西城区木樨地南里

邮政编码: 100038

经 销: 新华书店

印 刷: 北京蓝空印刷厂

---

版 次: 2014 年 8 月第 1 版

印 次: 2015 年 5 月第 2 次

印 张: 19.5

开 本: 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

字 数: 405 千字

---

书 号: ISBN 978 - 7 - 5653 - 1968 - 6

定 价: 60.00 元

---

网 址: [www.cppsups.com.cn](http://www.cppsups.com.cn) [www.porclub.com.cn](http://www.porclub.com.cn)

电子邮箱: [zbs@cppsup.com](mailto:zbs@cppsup.com) [zbs@cppsu.edu.cn](mailto:zbs@cppsu.edu.cn)

---

营销中心电话: 010 - 83903254

读者服务部电话 (门市): 010 - 83903257

警官读者俱乐部电话 (网购、邮购): 010 - 83903253

教材分社电话: 010 - 83903259

---

本社图书出现印装质量问题, 由本社负责退换  
版权所有 侵权必究

# 全国公安高等教育（本科）规划教材

## 编审委员会

主任：夏崇源

副主任：樊京玉 黄进 谢维和

程琳 王世全 崔芝崑

委员：（按姓氏笔画排序）

马维亚 王刚 伊良忠 刘玉庆

刘冠华 闫继忠 许剑卓 孙茂利

杜兰萍 李娟 李锦奇 杨东

杨钧 吴钰鸿 吴跃章 张文彪

张兆端 张俊海 张高文 陈勇

陈延超 武冬立 林少菊 战俊

奚路彪 高峰 郭宝 曹诗权

程人华 程小白 傅国良 熊文修

滕健

编委会办公室：

陈延超（兼） 周佩荣 屈明

杨益平 曾惠

## 主编简介

董希琳，男，陕西周至人。1982年本科毕业于重庆大学，1986年研究生毕业于中国科学院化工冶金研究所，工学硕士。现任中国人民武装警察部队学院训练部部长，武警少将警衔，教授，硕士研究生导师。主要从事消防安全方面的教学与科研工作。获国家科技进步二等奖1项，省部级一、二、三等奖共5项。

# 全国公安高等教育（本科）规划教材

## 消防燃烧学

主 编：董希琳

副主编：杜兰萍 杜文锋

撰稿人：（按姓氏笔画排序）

邢志祥 杜文锋 杜兰萍 张仁杰

张和平 徐晓楠 董希琳 蒋军成

魏 东

# 前 言

教材是体现教学内容和教学方法的知识载体，是联系教与学的有效媒介。教材建设是公安教育训练的基础性工作，是实现公安院校教育现代化、提高教学质量的一项基本措施。改革开放以来，我们根据公安院校教学工作需要，先后组织编写了近 200 种公安院校专业课和专业基础课教材，为培养高素质的公安人才提供了有力支撑。近年来，我国执法环境和执法依据发生了深刻变化，公安理论和实践创新有了长足进步，公安高等教育实现了跨越式发展，原有统编教材难以满足现实需要，亟须重新编写。对此，公安部党委十分重视，郭声琨部长、杨焕宁常务副部长专门作出指示，成立了由公安部党委委员、政治部主任夏崇源任主任委员的教材编审委员会，并在京召开了工作部署会推动教材编写工作顺利有序进行。

本套教材是公安院校的本科教学用书，也是公安民警培训、自学的母本教材或指导性用书，涵盖侦查、治安、经济犯罪侦查、交通管理工程、刑事科学技术、禁毒、网络安全与执法、公安视听技术、警务指挥与战术、边防管理、消防工程等公安类本科专业，共计 110 种教材，是公安高等教育史上规模最大、涉及最广的一次教材建设工程。

本套教材以培养应用型公安专门人才为目标，以习近平总书记系列重要讲话为指南，坚持院校专家学者与实务部门骨干相结合，深入基层、融入实战、贴近一线，在充分吸纳教学科研成果和警务实践成功经验的基础上编写而成。教材在内容上主要突出公安理论的基础性和公安工作的实践性，在阐述公安各学科基本原理的同时，注重实践运用能力的培养，既兼顾了学科专业的系统性，又强调了警务实战的特殊性。在

体例规范上，既相对统一，又预留空间，鼓励学术上的研究和探讨，利于学生展开更深的探究。

本套教材是在公安部政治部的统一领导下分组集体编写而成的。为保证教材内容贴近实战，我们遴选了部分警务实战骨干参与编写工作。各门教材由编写组精心组织、反复论证、集思广益完成初稿，最后经有关实战部门业务专家和部分社会相关领域知名专家学者审核后定稿。

我们相信，经过组织者、编写者、出版者的共同努力，全国公安高等教育（本科）规划教材能够以体系完整、内容丰富、贴近实战、形式新颖的精品特质，服务公安院校的教学和广大民警自学，为培养高素质、高水平的应用型公安专门人才发挥重要作用。

公安部政治部

2014年8月



# 编写说明

“消防燃烧学”是一门研究火灾发生、蔓延和熄灭规律的科学，是各消防专业的重要专业基础课，也是防火和灭火工作及消防研究的重要理论基础。为了满足培养高素质消防专业人员的需要，我们编写了这部《消防燃烧学》教材。

本教材是依据专家组会议审定的编写大纲，在充分调查研究的基础上，经认真编写、多次统稿和反复修改而成的。为了满足各消防专业的教学需要，本教材除保留了原“人民警察高等教育规划教材”《消防燃烧学》的基本理论和概念之外，还注重吸收了火灾动力学中能够直接用于指导消防工作的较为成熟的理论，着重汲取了火灾科学和重大消防课题的最新研究成果，丰富了油罐火灾发展趋势判定、自燃阻化、室内火灾等消防工程实际需要的内容，是对原教材的继承和发展。本教材内容包括：绪论、火灾燃烧基础知识、着火与灭火基本理论、可燃气体的燃烧、可燃液体的燃烧、可燃固体的燃烧、室内火灾简介等。

本教材由中国人民武装警察部队学院训练部部长董希琳教授任主编，公安部消防局副局长杜兰萍总工、中国人民武装警察部队学院消防工程系主任杜文锋教授任副主编。其中绪论由杜文锋编写；第一章由徐晓楠（中国人民武装警察部队学院，教授）编写；第二章由张和平、张仁杰（中国科学技术大学，教授）编写；第三章由杜兰萍、杜文锋编写；第四章由蒋军成（南京工业大学，教授）、魏东（中国人民武装警察部队学院，教授）编写；第五章由董希琳、邢志祥（常州大学，教授）编写；第六章由张和平、董希琳编写。中国人民武装警察部队学院王建英副教授、郑兰芳副教授承担了书稿的审校工作。

本教材主要作为消防工程、火灾勘查、核生化消防、消防指挥、抢险

## ◎消防燃烧学

救援指挥与技术等本科专业的教材，或消防有关专业研究生的参考书，亦可为公安消防人员、消防研究人员、消防工程设计人员提供理论指导。

本教材在编写过程中，得到了公安部消防局有关领导、专家，中国建筑科学研究院建筑防火研究所李引擎研究员，中国人民武装警察部队学院消防工程系、消防指挥系有关专家等的悉心指导，谨在此深表谢意。

由于我们水平有限，教材中难免会出现错误和不当之处，敬请广大读者批评指正。

《消防燃烧学》编写组  
2014年8月

绪 论 .....	( 1 )
<b>第一章 火灾燃烧基础知识 .....</b>	<b>( 6 )</b>
第一节 燃烧的本质和条件 .....	( 6 )
第二节 燃烧分类与燃烧基本过程 .....	( 8 )
第三节 热传导 .....	( 12 )
第四节 热对流 .....	( 24 )
第五节 热辐射 .....	( 26 )
第六节 燃烧过程中的质量传递 .....	( 35 )
第七节 燃烧热及燃烧温度 .....	( 41 )
第八节 烟气的产生及其危害 .....	( 54 )
<b>第二章 着火与灭火基本理论 .....</b>	<b>( 60 )</b>
第一节 着火分类和着火条件 .....	( 60 )
第二节 谢苗诺夫自燃理论 .....	( 61 )
第三节 弗兰克—卡门涅茨基自燃理论 .....	( 70 )
第四节 几种典型物质的自燃 .....	( 77 )
第五节 链式反应着火理论 .....	( 82 )
第六节 强迫着火 .....	( 88 )
第七节 灭火分析 .....	( 92 )
<b>第三章 可燃气体的燃烧 .....</b>	<b>( 98 )</b>
第一节 可燃气体的爆炸极限 .....	( 98 )
第二节 预混气体火焰传播分类 .....	( 111 )
第三节 层流预混气中的正常火焰传播 .....	( 114 )
第四节 预混火焰热损失与爆炸极限机理 .....	( 122 )
第五节 可燃气体爆炸 .....	( 127 )
第六节 爆轰 .....	( 133 )
第七节 气体爆炸的预防 .....	( 139 )
第八节 湍流燃烧和扩散燃烧 .....	( 143 )

<b>第四章 可燃液体的燃烧</b> .....	(148)
第一节 液体的蒸发 .....	(148)
第二节 闪燃与爆炸温度极限 .....	(152)
第三节 可燃液体的着火 .....	(162)
第四节 液体火灾的蔓延 .....	(170)
第五节 油池(罐)火灾的模拟分析 .....	(177)
第六节 原油与重质油品的沸溢和喷溅火灾 .....	(186)
<b>第五章 可燃固体的燃烧</b> .....	(195)
第一节 可燃固体的燃烧形式和评价参数 .....	(195)
第二节 可燃固体的引燃 .....	(198)
第三节 可燃固体火焰蔓延 .....	(205)
第四节 火焰蔓延模型 .....	(214)
第五节 固体阴燃 .....	(219)
第六节 典型固体燃烧的特点 .....	(226)
第七节 粉尘爆炸 .....	(233)
第八节 固体材料的阻燃及阻化处理 .....	(240)
第九节 炸药爆炸 .....	(249)
<b>第六章 室内火灾简介</b> .....	(257)
第一节 概述 .....	(257)
第二节 室内受限燃烧的特点 .....	(259)
第三节 室内火灾的发展阶段 .....	(267)
第四节 烟气的流动 .....	(283)
<b>主要参考文献</b> .....	(289)
<b>附 录</b> .....	(290)

# 绪 论

## 一、火灾及其危害

燃烧是一种特殊的化学反应，伴随有强烈的发热、发光与发烟现象。燃烧可以为生产和生活提供能源和热量，但一旦失控就会酿成火灾，造成财产损失和人员伤亡。据统计，近年来，全国每年发生数十万起火灾，造成巨大的财产损失和人员伤亡。尤其是高层建筑、地下工程、石油化工等特种火灾及爆炸事故不断发生，给国民经济和人民生命财产造成重大损失。因此，探究火灾发生的机理，在此基础上通过消防安全管理和消防工程等方法与手段抑制火灾的发生，减轻火灾造成的人员伤亡和财产损失，对于推动社会经济可持续协调发展，保障生命、财产和环境安全具有十分重要的意义。

## 二、消防燃烧学的研究对象

消防燃烧学是一门关于火灾发生、发展和熄灭规律的科学，主要研究燃烧本质，燃烧发生与熄灭条件，火灾蔓延，热量释放速率和燃烧产物及其生成速率，特殊火灾现象以及各种因素对燃烧的影响等问题。

### （一）燃烧的本质

燃烧俗称火，早在远古时代，人类就开始用火。但由于科学技术和生产力水平的限制，那时人们不可能探究火的本质。到了近代，随着科学技术的进步和生产力水平的提高，燃烧的本质逐渐得到揭示。1774年，英国化学家普利斯特利在实验室发现了氧。在此基础上，法国化学家拉瓦锡进行了大量的实验，通过对实验结果的归纳与分析，终于在人类历史上第一次提出了科学的燃烧学说——燃烧的氧学说，并于1777年公布于世。这一学说的中心思想是：燃烧是可燃物与氧的化合反应，同时放出光和热。

现代化学表明，燃烧是可燃物与氧化剂作用发生的放热反应，通常伴随有火焰、发光和（或）发烟现象。

### （二）燃烧发生与熄灭条件

燃烧的发生必须具备三要素：可燃物、助燃物和火源。这是发生燃烧的必要条件。但仅仅具备燃烧三要素并不必然导致燃烧。因此，要使燃烧发生，对不同燃烧

形式还需满足更加严格的条件。例如：

对预混气体，可燃气体的浓度必须介于爆炸浓度下限和爆炸浓度上限之间。

对可燃液体，液体的温度必须高于燃点。当液体温度在闪点和燃点之间时，液体遇火源只能发生一闪即灭的闪燃现象。

对固体，没有固定的闪点和燃点。在一定点火源作用下，当固体温度达到该条件下的闪点和燃点温度时固体才能着火燃烧。

无论气体、液体，还是固体物质，体系的着火过程都应满足体系的热释放速率大于热损失速率的要求。只有在此条件下，体系的温度才能不断上升，直至体系着火。

体系的着火可分为强迫着火和自燃着火两大类：强迫着火是指在火源作用下的着火，而自燃着火是指一定条件下，体系内部通过物理、化学或生物过程发热，引起热量积累而着火的过程。

燃烧的熄灭有冷熄、吹熄、化学抑制和窒息等多种方式。

从能量平衡的角度看，体系的着火与熄灭并非可逆过程，存在灭火滞后现象。即只有当燃烧系统处于比着火条件更不利的环境下时燃烧才能熄灭。

燃烧发生和熄灭条件的研究为防火与灭火措施的制定提供了理论依据。

虽然对物质的着火与灭火已有比较成熟的理论，但对每种实际情况，材料着火的临界条件受到多种因素的影响。因此，应用消防燃烧学理论和研究方法确定特定条件下物质着火与灭火的条件仍然是消防燃烧学必须解决的问题。

### （三）火灾蔓延

消防燃烧学必须回答当火灾发生后，火灾的蔓延速率和蔓延范围问题。目前，对火焰在预混气体中的传播、火焰沿薄固体燃料和液体燃料表面的传播等都有相应的传播模型。但这些模型只能在严格限定的条件下使用，并不能作为通用模型应用到一般物质的燃烧。因此，火灾蔓延问题一直是消防燃烧学研究的热点领域。

### （四）热释放速率和燃烧产物生成速率

热释放速率取决于可燃材料的热分解（蒸发）速率和分解（蒸发）产物的燃烧效率。材料的热分解速率又取决于材料的化学分解动力学参数和外加热通量以及材料自身燃烧形成的热反馈通量。分解产物的燃烧效率受到氧化剂供给速率和流动形态的强烈影响。可见，用数学方法完整描述材料燃烧的热释放速率是一件十分困难的事情，需要化学动力学、传热学、流体力学等多学科知识的综合运用。

燃烧产物对人员具有毒害作用，掌握燃烧产物的生成速率和燃烧产物在建筑物内部的流动和浓度分布对评估火灾烟气对人员的危害和对人员疏散的影响具有重要意义。

不同物质燃烧形成的燃烧产物的种类和浓度既受可燃物的化学性质的影响，又受燃烧区域空气流动形态的强烈影响。目前还没有燃烧产物成分和生成量的严格估算模型，但通过锥型量热仪实验等测试方法可以得到在特定条件下特定材料的烟气

生成参数。

#### (五) 室内火灾

室内火灾是最常见的火灾形式。由于建筑物围护结构（如墙壁、地板和天花板等）对燃烧产物和空气流动的限制，以及对热量累积和热量向可燃物表面反馈的影响，室内燃烧与敞开环境中的物质燃烧具有明显不同的特征。目前，对室内火灾的研究主要集中在下列几个方面：

1. 室内火灾基本过程和对建筑构件的热量传递。
2. 轰燃与回燃等特殊火灾现象的机理与预测方法。
3. 室内烟气流动。

#### (六) 火灾的确定性与随机性特性

火灾的发生受多种自然和社会因素的影响，其发生具有不确定性，即随机性。但火灾一旦发生，其蔓延和传播具有确定性。

### 三、消防燃烧学在消防学科中的地位与作用

消防燃烧学是消防学科的重要理论基础之一。消防学科越发展，消防燃烧学在学科发展中的基础作用越突出。目前，消防燃烧学基本理论已成为现代消防不可或缺的前提条件。

#### (一) 消防燃烧学基本理论是消防安全管理的基础

例如，为了防止煤炭堆积过高引起自燃，需要掌握煤炭的自燃机理，并通过热自燃理论和实验方法确定煤炭自燃的临界尺寸，从而确定煤炭的安全堆积尺寸；在建筑消防工程中，为了确定建筑物之间的防火间距，需要准确计算建筑物火灾对邻近建筑物的辐射热通量和可燃材料的临界着火辐射热通量。

#### (二) 消防燃烧学基本理论是火灾扑救的基础

例如，根据油罐火灾燃烧实验，确定了泡沫灭火剂扑救油罐火灾的最小喷射强度；利用火灾过程中油品内部的热波理论可以估算沸溢和喷溅的大致发生时间，而根据油罐火灾的燃烧特征的变化可以比较准确地判断沸溢和喷溅的发生。这些都使得消防人员在灭火过程中能够及时感知沸溢和喷溅的发生，采取措施避免沸溢和喷溅现象造成人员伤亡和火势蔓延。

#### (三) 消防燃烧学基本理论是火灾原因鉴定的基础

例如，根据材料燃烧痕迹可以大致判断火灾起火点；利用火灾模拟技术可以对火灾过程进行复原，从而判断起火点和火灾蔓延路径；利用物质着火理论，可以确定或排除某些火灾成因。

#### (四) 消防燃烧学基本理论是消防技术开发与应用的基础

例如，感烟探测器对不同物质在不同条件下产生的烟雾具有不同的探测特性，开发新的感烟探测设备必须利用不同物质产生的烟雾进行响应特性试验；在预混气体火焰传播过程中必须保持热损失与热释放的能量平衡关系，当这种能量关系被破

坏时，火焰传播就会被终止。内部充满金属箔条的安全油箱之所以具有防爆功能正是利用了这一原理。

#### (五) 消防燃烧学基本理论是消防工程设计与评估的基础

近年来，消防工程正在经历从“处方式”消防工程向“性能化”消防工程的转变。

“处方式”消防工程是指按照已有的规范条文进行建筑物消防系统的设计和安装。其特点是简单易行，但消防系统的实际应用效果无法确定，而且现有的消防规范仅适用于一定的建筑物类型与结构，对新型建筑的消防设计缺乏指导作用。而“性能化”消防工程针对特定建筑对象的特定消防安全目标，运用火灾科学的基本原理，采取计算机模拟或数理推算，并结合实验方法，确定合理的消防安全设计。性能化消防工程能够避免处方式消防工程的不足，极大地拓展了消防工程的使用范围。因此，性能化消防工程设计与评估是消防工程的重要发展方向。

消防燃烧学基本原理和材料燃烧特性参数是实施性能化消防工程设计与评估的基础。如以生命安全为建筑物消防工程设计与评估的总体目标时，必须掌握不同火灾场景下材料的热量释放速率、燃烧产物成分和生成速率等随时间的变化关系，在此基础上，利用数值模拟方法计算烟雾在建筑物内部的流动与分布等；评估感温探测器对火灾的响应时间时，必须掌握顶棚射流内的温度分布和速度分布特征；预测建筑物构件的耐火时间时，必须根据室内火灾理论确定各种火灾场景下建筑物内的燃烧产物温度与流动特征，以及高温烟气对建筑物构件的传热特性。

上述分析表明，火灾认识科学化和火灾防治工程化是当今消防科技的根本变革。只有发展和应用消防燃烧学的基本理论，才能满足不断涌现的消防安全新需求。

### 四、消防燃烧学的特点与学习方法

消防燃烧学是一门研究对象十分广泛的课程。根据燃烧对象的状态分类，火灾可分为固体可燃物（包括金属）火灾、液体可燃物火灾、气体可燃物火灾。根据火灾发生的场所进行分类，火灾可分为地上建筑火灾、地下建筑火灾、水上（水下）火灾和空间火灾。根据起火原因分类，火灾可分为自燃着火火灾、强迫着火火灾等。

消防燃烧学是一门实践性很强的课程，很多燃烧与爆炸的规律和特性是由实践总结出来的。在大部分情况下，仅仅通过消防燃烧学基本原理无法预测各种材料在不同条件下的燃烧特性参数。因此，材料燃烧参数及其测试方法也是消防燃烧学的重要内容之一。

消防燃烧学是一门交叉性很强的课程。在消防燃烧学发展的最初阶段，燃烧研究基本上是一个特殊化学问题。但随着燃烧研究的深入开展，人们发现，同一种材料，由于材料的状态、尺寸、放置方位、与临近物体的相对位置关系、与环境之间



的热量和质量传递关系的改变等都能在很大程度上改变材料的燃烧特性。在涉及火灾蔓延与爆炸、火灾对周围环境的热危害作用和毒害作用、环境条件对燃烧的影响等问题时,必须应用基础化学、化学动力学、化学热力学、传热传质学和流体力学等多方面知识进行综合研究。因此,消防燃烧学是一门典型的交叉学科。

消防燃烧学是一门发展性很强的课程。随着科技进步和社会经济的不断发展,新能源、新材料和新工艺不断涌现,而由此引起的火灾、爆炸问题也不可避免地成为消防燃烧学研究的新领域;人类进入太空时代后,对载人航天飞行器内部的材料着火、燃烧与熄灭特征研究催生了微重力燃烧科学,这从空间角度拓展了消防燃烧学的研究范畴;近二十年来,数值模拟技术、计算机技术快速发展,为火灾过程的数值模拟提供了极大的便利,使对火灾过程的研究逐渐从定性描述走向了定量描述。这种定量描述极大地促进了对火灾基本理论的研究与应用。

消防燃烧学是一门古老而年轻的学科,在许多方面还有待进一步充实和完善。一是材料燃烧特征参数的数据库还需不断扩充,以满足迅速发展的性能化消防工程、火灾扑救和火灾原因鉴定等工作需求。二是由于燃烧过程的复杂性,迄今为止,对某些特殊火灾现象还无法进行准确而方便的预测。例如,实际火灾的蔓延、建筑火灾的轰燃与回燃、不同条件下火灾烟气生成量的预测、灭火剂与燃烧过程相互作用模型等都是需要研究的课题。

消防燃烧学的众多研究领域不仅为消防科技工作者提供了广阔的研究空间,而且对消防燃烧理论的学习者提出了特殊的要求。在学习过程中,不仅要准确把握消防燃烧学的基本原理,而且对已有的观点和结论要善于分析和思考,从中发现不足与局限性,从而有所创造、有所前进,为完善消防燃烧学作贡献。同时,必须坚持理论联系实际的原则。一方面要将抽象的理论模型演绎为实际火灾燃烧现象;另一方面要对消防工作中遇到的实际问题进行归纳和抽象,上升到消防燃烧学基本理论的高度进行研究解决。只有这样,才能不断加深对消防燃烧学基本理论的理解和掌握;才能培养利用消防燃烧学的基本原理分析和解决实际消防问题的能力和水平。